

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/002148

International filing date: 01 March 2005 (01.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 011 733.0  
Filing date: 04 March 2004 (04.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 24 June 2005 (24.06.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

17 JUN 2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 011 733.0

**Anmeldetag:** 04. März 2004

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss SMT AG, 73447 Oberkochen/DE

**Bezeichnung:** Transmissionsfiltervorrichtung

**IPC:** G 02 F 1/03

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. April 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

  
Agurke



Anmelder:

Carl Zeiss SMT AG  
Carl-Zeiss-Strasse 22  
73447 Oberkochen

Unser Zeichen: P 43287 DE

4. März 2004 Mu/SR/rc

Transmissionsfiltervorrichtung

5 Die Erfindung betrifft eine Transmissionsfiltervorrichtung zur ortsabhängigen Intensitätsfilterung einer Eintrittslichtverteilung, ein Beleuchtungssystem für eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einer solchen Transmissionsfiltervorrichtung und ein Belichtungsverfahren.

10 Eine Anwendung, bei der es besonders auf die exakte Einhaltung einer vorgegebenen Transmissionsverteilung mit räumlich variierender Lichtdurchlässigkeit ankommt, ist die mikrolithographische Herstellung von Halbleiterbauelementen oder anderen feinstrukturierten Bauteilen. Hierzu werden bekanntlich Waferstepper oder Waferscanner eingesetzt, bei denen u.a. die Forderung besteht, in der Bildebene eines Projektionsobjektives die Abweichungen der Beleuchtungsintensität von einer Gleichverteilung innerhalb von für die Beleuchtung vorgesehenen Winkelbereichen so gering wie möglich zu halten. Spezifikationen mit Abweichungen von weniger als  $\pm 2\%$  sind hier üblich. Diese Spezifikation wird bei gegebenem Beleuchtungssystem und gegebenem Projektionsobjektiv häufig nicht direkt erreicht, insbesondere wenn keine Lichtmischeinrichtung in einem solchen Beleuchtungssystem vorge-

sehen ist. Zur Beseitigung einer nicht tolerierbaren Ungleichverteilung kann ein zusätzliches Abschwächungsfilter mit geeignet vorgegebenem Transmissionsprofil im Beleuchtungssystem vorgesehen sein.

5 Ein solches Abschwächungsfilter zur definierten Abschwächung der Lichtintensität von transmittiertem kurzwelligem Ultraviolettlicht, insbesondere für Wellenlängen von weniger als 200nm, gemäß einer vorgebbaren räumlichen Verteilung der Lichtdurchlässigkeit wird in der US 2002/0191310 beschrieben. Es weist ein beispielsweise aus kristallinem Calciumfluorid bestehendes Substrat auf, bei dem auf mindestens einer Oberfläche eine Filterschicht mit einem im vorgegebenen Wellenlängenbereich absorbierenden, dielektrischen Material aufgebracht ist. Die Filterschicht besteht für Arbeitswellenlängen um 193nm im Wesentlichen aus Tantalpentoxid.

15 Derartige Transmissionsfiltervorrichtungen haben fest vorgebbare Ortsabhängigkeit der Transmission und sind für die Korrektur der Intensitätsverteilung bei einem fest vorgegebenen Beleuchtungssetting ausgelegt. Für eine flexible Anpassung der Intensitätsfilterwirkung beim Settingwechsel muss gegebenenfalls ein Filterwechsel vorgenommen werden.

20 Zur Erzeugung einer orts- und zeitabhängigen Transmissionsfilterwirkung können digitale Filter eingesetzt werden, wie sie beispielsweise in der US 6,215,578 beschrieben werden. Der dort gezeigte digitale Filter weist eine Rasteranordnung von elektronisch ansteuerbaren Pixeln auf, die für das eingestrahlte Licht entweder durchlässig oder opak sind. An einem einzelnen Pixel ist es daher nur möglich, Transmissionsgrade von 100% oder 0% einzustellen. Eine stufenlose Variation der Transmissionsfilterwirkung mit einer Ortsauflösung im Bereich der Pixelgröße lässt sich mit solchen Vorrichtungen somit nicht erreichen.

Aus dem Bereich der optischen Modulatoren ist die Nutzung des Pockels-Effektes bekannt, welcher beschreibt, dass bei bestimmten Materialien deren Doppelbrechung und damit eine erzeugbare Verzögerungswirkung einer angelegten elektrischen Spannung direkt proportional ist. Eine Pockels-Zelle kann in Verbindung mit Polarisatoren auch zum Aufbau eines Pockels-Verschusses genutzt werden, dessen Transmissionsgrad durch eine an die Pockels-Zelle angelegte Spannung verändert werden kann (vgl. Naumann/Schröder „Bauelemente der Optik“, 6. Auflage (1992), Carl Hanser Verlag, Kapitel 22.3.).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Transmissionsfiltervorrichtung zu schaffen, welche eine einfache Möglichkeit zur Bereitstellung unterschiedlicher Transmissionsfunktionen bietet. Des weiteren soll ein Belichtungsverfahren bereitgestellt werden, welches eine auf einfache Weise variable Intensitätsbeeinflussung, insbesondere für eine Homogenisierung einer Intensitätsverteilung in einem Beleuchtungsfeld eines Beleuchtungssystems einer Projektionsbelichtungsanlage erlaubt.

Diese Aufgabe wird durch eine Transmissionsfiltervorrichtung mit den Merkmalen von Anspruch 1 sowie ein Beleuchtungssystem mit den Merkmalen von Anspruch 19 sowie einem Verfahren nach Anspruch 24 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

Eine erfindungsgemäße Transmissionsfiltervorrichtung umfasst mindestens eine in Transmission betreibbare Zellenanordnung zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht einer Eintrittslichtverteilung, die zur Erzeugung einer zeitlich variablen Verzögerungs-

wirkung ansteuerbar ist sowie mindestens eine im Lichtweg hinter der Zellenanordnung angeordnete Polarisationsfilteranordnung. Die Zellenanordnung erzeugt aus der Eintrittslichtverteilung eine ortsabhängig polarisierte Lichtverteilung, an der mittels der Polarisationsfilteranordnung eine polarisationsselektive, ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen wird. Die Zellenanordnung ist zur Einstellung einer zeitlich variablen Verzögerungswirkung ausgelegt, so dass eine zeit- und ortsabhängige Intensitätsfilterung am Licht der Eintrittslichtverteilung durchgeführt werden kann.

An jeder Zelle ist die Verzögerungswirkung vorzugsweise stufenlos ansteuerbar, was zur Folge hat, dass auch die Transmissionsfilterwirkung der Transmissionsfiltervorrichtung mit einer Ortsauflösung, die der Fläche der Zellen entspricht, stufenlos einstellbar ist.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die Zellenanordnung mindestens einen nichtlinearen optischen Kristall zur Erzeugung eines linearen elektrooptischen Effekts (Pockels-Effekt) in Lichtdurchtrittsrichtung der Eintrittslichtverteilung. Der Pockels-Effekt ist ein nichtlinearer optischer Effekt und tritt daher bei nichtlinearen optischen Kristallen auf.

Wird zwischen zwei gegenüberliegenden Seitenflächen eines z.B. quaderförmigen, nichtlinearen optischen Kristalls eine Potentialdifferenz  $U$  erzeugt, so bildet sich eine Phasenänderung  $\delta$  an dem den Kristall durchstrahlenden Licht aus, die proportional zur angelegten Potentialdifferenz  $U$  ist gemäß:  $\delta = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n_o^3 \cdot U/\lambda$ . Hierbei bezeichnet  $r$  die elektrooptische Konstante des Kristalls,  $n_o$  die ordentliche Brechzahl des Kristalls und  $\lambda$  die Wellenlänge des den Kristall durchstrahlenden Lichtes. Der Pockels-Effekt wird auch als linearer elektrooptischer Effekt bezeichnet, da die Phasenänderung  $\delta$  linear mit der Potentialdifferenz  $U$  zunimmt. Durch diese lineare Abhängigkeit ist die Einstellung einer vor-

gebaren Phasenänderung  $\delta$  mittels einer Potentialdifferenz  $U$  besonders leicht und genau möglich.

In einer Ausführungsform ist der nichtlineare optische Kristall für Licht in einem Wellenlängenbereich unterhalb von 200nm transparent. Kristalle, die unterhalb dieser Wellenlänge transparent sind, eignen sich besonders zum Einsatz in der Mikrolithographie, bei der zur Erzeugung von feinsten Halbleiterstrukturen mit Beleuchtungslicht mit Wellenlängen von unter 200nm, insbesondere 193nm oder 157nm gearbeitet wird.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung besteht der nichtlineare optische Kristall im Wesentlichen aus Beta-Bariumborat (BBO), Kaliumdihydrogenphosphat (KDP), deuteriertem Kaliumdihydrogenphosphat (DKDP) oder Lithium-Triborat ( $\text{LiB}_3\text{O}_5$ , LBO). Kristalle aus diesen Materialien sind auch bei Wellenlängen kleiner als 200nm transparent. KDP und DKDP haben einen Transmissionsbereich von ca. 190nm bis ca. 1500nm. Bei LBO reicht der Transmissionsbereich von ca. 160nm bis ca. 2600nm. Daher sind auch Anwendungen im sichtbaren oder im Infrarotbereich möglich.

In einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung ist der nichtlineare optische Kristall als den Bereich der Eintrittslichtverteilung vollständig überdeckende Planplatte mit einer ersten und einer zweiten Plattenfläche ausgeführt. Die Ausgestaltung des nichtlinearen optischen Kristalls als Platte hat den Vorteil, dass Bauvolumen eingespart werden kann und an den planen Plattenflächen vorteilhaft Einrichtungen zur Erzeugung einer Potentialdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Plattenfläche angebracht werden können. Die Platte wird vorzugsweise so orientiert, dass die Eintrittslichtverteilung im Wesentlichen senkrecht auf die Plattenflächen auftrifft.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung ist zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden sowie auf der zweiten Platten-

fläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten zweiten Elektroden aufgebracht und erste und zweite Elektroden sind einander zur Bildung einer Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten Elektrodenpaaren paarweise zugeordnet, wobei jedes Elektrodenpaar eine Zelle der Zellenanordnung definiert. Bei manchen Ausführungsformen kann mit jedem Elektrodenpaar unabhängig von den anderen Elektrodenpaaren eine definierte Spannungsdifferenz und damit eine definierte Verzögerungswirkung eingestellt werden. Auch ein gruppenweises Ansteuern mehrerer Elektrodenpaare kann vorgesehen sein. Die Elektroden jedes Elektrodenpaars sind vorteilhafter Weise auf der ersten und zweiten Plattenfläche einander gegenüberliegend angeordnet, wobei die Mehrzahl von Elektrodenpaaren den Teil der planparallelen Platte, an dem die Eintrittslichtverteilung auftrifft, im Wesentlichen vollständig überdecken sollte. Die Elektrodenpaare können dicht nebeneinander angeordnet werden, ohne dass sich die von den Spannungsdifferenzen der einzelnen Paare hervorgerufenen elektrischen Felder überlagern. Dadurch kann eine hohe Ortsauflösung der ortsabhängigen Verzögerungswirkung sichergestellt werden. Aus Gründen der Elektrostatik sollte jedoch der Abstand zwischen Elektroden eines Elektrodenpaars signifikant kleiner sein als der Abstand zwischen benachbarten Elektrodenpaaren. Dadurch kann sichergestellt werden, dass sich das elektrische Feld praktisch ausschließlich zwischen den einander gegenüber liegenden Elektroden eines Elektrodenpaars ausbildet.

In einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung ist zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden sowie auf der zweiten Plattenfläche mindestens eine zweite Elektrode aufgebracht, wobei mehrere erste Elektroden einer gemeinsamen zweiten Elektrode zugeordnet sind. Dadurch kann der Aufwand, der für die elektrische Kontaktierung der zweiten Elektroden notwendig ist, verringert werden.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung ist zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden aufgebracht und die zweite Plattenfläche weist eine einzige zweite Elektrode auf, der die Mehrzahl erster Elektroden zugeordnet ist. Die zweite Elektrode lässt sich auf der zweiten Plattenfläche leicht aufbringen. Zur Herstellung von ortsabhängigen Potentialdifferenzen ist es ausreichend, wenn nur eine Seite der Platte mit elektrisch getrennten Elektroden versehen ist. Die zweite Elektrode kann zur Erzeugung eines Referenzpotentials (z.B. Massepotential für alle ersten Elektroden) dienen. Damit kann auf Seiten der zweiten Elektrode eine einzige Kontaktleiterbahn zur Kontaktierung ausreichen, wodurch der elektrische Anschluss der Zellenanordnung deutlich vereinfacht wird.

In einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung sind paarweise voneinander elektrisch getrennte Elektroden auf dem Kristall in einem Abstand voneinander angeordnet, der groß gegen die Plattendicke des Kristalls ist. Hierdurch wird gewährleistet, dass zwischen benachbarten Zellen keine signifikanten elektrischen Felder auftreten, so dass die Potentialdifferenz jeder Zelle unabhängig von den Potentialdifferenzen benachbarter Zellen eingestellt werden kann.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung sind die Elektroden im Wesentlichen frei von hohen Feldstärken verursachenden Bereichen (Materialspitzen). Durch Vermeidung hoher Feldstärken kann einem Verschleiß des Kristallmaterials wirksam vorgebeugt werden. Materialspitzen können durch eine geeignet gewählte Geometrie der Elektroden verhindert werden, z.B. durch Abrunden von Ecken oder Kanten.

In einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung weist mindestens eine Elektrode eine Antireflexschicht auf. Antireflexschichten tragen zur Vermeidung von Lichtverlusten sowie von Streulicht bei.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung ist mindestens eine Elektrode als Gitterelektrode mit einer Mehrzahl von Stegen aus elektrisch leitendem Material und hohem transparenten Flächenanteil ausgebildet. Aufgrund des hohen transparenten Flächenanteils geht nur ein geringer Teil des Lichts der Eintrittslichtverteilung durch Absorption und/oder Reflexion am elektrisch leitenden Material verloren.

Bei einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung sind die Elektroden derart teiltransparent ausgebildet, dass der durch die Elektroden hervorgerufene Transmissionsverlust der Eintrittslichtverteilung beim Durchgang durch die Zellenanordnung kleiner als 10% ist. Die Elektroden können hierbei flächenfüllend aus teiltransparentem Material gebildet sein oder als Gitterelektroden wie oben dargestellt ausgebildet sein.

Bei einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung ist dieser eine Steuerungseinrichtung zur Erzeugung von unabhängig voneinander einstellbaren elektrischen Potentialdifferenzen zwischen jeweils einer der elektrisch voneinander getrennten ersten Elektroden der ersten Plattenfläche und mindestens einer zugeordneten Elektrode der zweiten Plattenfläche zugeordnet. Die Steuerungseinrichtung sollte hierzu derart ausgestaltet sein, dass eine der Anzahl der ersten Elektroden entsprechende Anzahl von variabel vorgebbaren Potentialen, z.B. durch mehrfache Spannungsteilung einer Maximalspannung, zur Verfügung gestellt werden kann. Jedes einzelne Potential sollte kontinuierlich zwischen einem Maximalwert und einem dem Massepotential entsprechenden Minimalwert einstellbar sein.

In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die Polarisationsfilteranordnung mindestens einen Dünnschichtpolarisator. Dünnschichtpolarisatoren lassen sich leicht herstellen und können auf einen Betrieb für Wellenlängen von weniger als 200nm ausgelegt sein.

5

Bei einer Ausführungsform der Transmissionsfilteranordnung umfasst die Polarisationsfilteranordnung mindestens eine transparente Planplatte, welche bezüglich des auftreffenden Lichts im Wesentlichen unter dem Brewster-Winkel angeordnet ist. Unter dem Brewster-Winkel ist die Polarisationsaufspaltung zwischen senkrecht und parallel zur Einfallsebene der transparenten Planplatte polarisierten Licht besonders groß, so dass die Polarisationsfilterung mit hohem Wirkungsgrad einfach durchführbar ist.

10

Ein erfindungsgemäßes Beleuchtungssystem für eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage zur Beleuchtung eines Beleuchtungsfeldes mit dem Licht einer primären Lichtquelle weist eine Pupillenformeinheit zur Erzeugung einer vorgebbaren Lichtverteilung in einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems sowie mindestens eine Transmissionsfiltervorrichtung auf. Die Transmissionsfiltervorrichtung kann zur Herstellung einer orts- und zeitabhängigen Intensitätsfilterung des Beleuchtungslichts dienen. Sie kann als Teil der Pupillenformeinheit in diese integriert sein, es ist jedoch auch eine Anordnung außerhalb der Pupillenformeinheit möglich, z.B. im Lichtweg hinter der Pupillenformeinheit oder nahe oder hinter der Pupillenfläche, deren Intensitätsverteilung mittels der Pupillenformeinheit geformt wird.

25

In einer Weiterbildung des Beleuchtungssystems ist die Transmissionsfiltervorrichtung in oder in der Nähe einer Ebene mit geringer numerischer Apertur, vorzugsweise in oder in der Nähe einer Ebene mit numerischer Apertur  $< 0,1$ , besonders bevorzugt in oder in der Nähe einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems vorgesehen. Die Anbrin-

30

gung in einer Ebene mit geringer numerischer Apertur trägt zur Vermeidung von Lichtverlusten bei. Eine für die Anbringung der Transmissionsfiltervorrichtung geeignete Pupillenebene ist die Pupillenebene der von der Pupillenformeinheit vorgegebenen Lichtverteilung.

5

Bei einer Ausführungsform des Beleuchtungssystems umfasst dieses keine Lichtmischeinheit zur Homogenisierung des Beleuchtungslichts. Insbesondere ist somit im Beleuchtungssystem weder ein Wabenkondensor noch eine Stabintegratoranordnung vorhanden. Die ortsabhängige Transmissionsfunktion der Transmissionsfiltervorrichtung kann in einem solchen Beleuchtungssystem zur Homogenisierung der Beleuchtungsstrahlung ausgelegt sein.

10

In einer Weiterbildung der Erfindung ist eine mit der Steuerungseinrichtung und der Pupillenformeinheit verbundene Regelungseinheit zur Abstimmung der ortsabhängigen Intensitätsfilterung auf die vorgebbare Lichtverteilung in der Pupillenebene vorgesehen. Die Transmissionsfiltervorrichtung kann hierbei z.B. in der Pupillenebene, in der die Pupillenformeinheit die vorgebbare Lichtverteilung erzeugt, oder in einer anderen Pupillenebene, z.B. in einem Abbildungsobjektiv des Beleuchtungssystems, angeordnet sein.

20

Die Erfindung umfasst auch ein Belichtungsverfahren zur Belichtung eines im Bereich einer Bildebene eines Projektionsobjektivs angeordneten Substrates mit mindestens einem Bild eines im Bereich einer Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters einer Maske mit: Beleuchten des Musters mit Beleuchtungsstrahlung eines erfindungsgemäßen Beleuchtungssystems zur Erzeugung einer durch das Muster veränderten Strahlung; Durchstrahlen des Projektionsobjektivs mit der durch das Muster veränderten Strahlung zur Erzeugung einer auf das Substrat gerichteten Ausgangsstrahlung, wobei die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung in der Objektebene des Projektionsobjektivs

30



mit der Transmissionsfiltervorrichtung ortsabhängig und zueinander variabel eingestellt wird. Die Transmissionsfiltervorrichtung kann zur Beeinflussung der Winkelverteilung der Beleuchtungsstrahlung in der Objektebene in oder in der Nähe einer zur Objektebene fouriertransformierten Pupillenebene angeordnet werden, da eine ortsabhängige Intensitätsfilterung in dieser Ebene eine winkelabhängige Intensitätsfilterung in der dazu konjugierten Feldebene erzeugt. Unter einer winkelabhängigen Intensitätsfilterung wird hier die Abschwächung der unter solchen Winkeln auf die Feldebene auftreffenden Beleuchtungsstrahlen bezeichnet, die von Orten hoher Intensitätsfilterung in der Pupillenebene ausgehen.

Bei einer Weiterbildung des Belichtungsverfahrens wird zunächst am Pupillenformungselement eine erste Lichtverteilung eingestellt und an der Transmissionsfiltervorrichtung eine zugeordnete erste ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen und danach wird am Pupillenformungselement mindestens eine zweite Lichtverteilung eingestellt und an der Transmissionsfiltervorrichtung eine zweite ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen. Der Wechsel kann in Abhängigkeit von den abzubildenden Maskenstrukturen gesteuert werden. Die Intensitätsfilterung der Transmissionsfiltervorrichtung wird dabei an die jeweils mit dem Pupillenformungselement eingestellte Lichtverteilung angepasst, beispielsweise so, dass für jedes Beleuchtungssetting ein vorgesehener Wert für die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung (Uniformity) erreicht oder unterschritten wird.

In einer Ausführungsform des Belichtungsverfahrens wird die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung mit der Steuerungseinrichtung zur Erzeugung einer Homogenisierungswirkung auf den minimalen Intensitätswert der Eintrittslichtverteilung eingestellt. Durch diese Maßnahme kann die Winkelverteilung in der Objektebene der Projektionsobjekts bei minimalen Lichtverlusten homogenisiert werden, so dass

die Abbildungsqualität verschlechternde Effekte, wie z.B. Elliptizität, vermieden werden können.

Die vorstehenden und weiteren Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei Ausführungsformen der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können.

Fig. 1 zeigt eine schematische Seitenansicht einer Ausführungsform einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem mit einer Transmissionsfiltervorrichtung,

Fig. 2 zeigt schematisch eine Seitenansicht der Transmissionsfiltervorrichtung von Fig. 1 mit einer Zellenanordnung und einer Polarisationsfilteranordnung,

Fig. 3 zeigt eine schematische Zeichnung zur Erklärung des Funktionsprinzips der Transmissionsfiltervorrichtung von Fig. 2 anhand einer Zelle der Zellenanordnung und eines zugeordneten Polarisationsfilters,

Fig. 4 zeigt eine Draufsicht auf eine erste Seite der Zellenanordnung von Fig. 2 mit einer Mehrzahl von Elektroden,

Fig. 5 zeigt eine Seitenansicht der Zellenanordnung von Fig. 1 mit elektrischen Feldlinien,

Fig. 6 zeigt eine Draufsicht auf eine Ausführungsform einer Elektrode als Gitterelektrode.

In Fig. 1 ist ein Beispiel einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage 1 gezeigt, die bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen feinstrukturierten Bauteilen einsetzbar ist und zur Erzielung von Auflösungen bis zu Bruchteilen von Mikrometern mit Licht aus dem tiefen Ultraviolettbereich arbeitet. Als Lichtquelle 2 dient ein ArF-Excimer-Laser mit einer Arbeitswellenlänge von ca. 193nm, dessen Lichtstrahl koaxial zur optischen Achse 3 des Beleuchtungssystems ausgerichtet ist. Andere UV-Lichtquellen, beispielsweise F<sub>2</sub>-Excimer-Laser mit 157nm Arbeitswellenlänge, KrF-Excimer-Laser mit 248nm Arbeitswellenlänge oder Quecksilberdampflampen mit 368nm bzw. 436nm Arbeitswellenlänge oder Lichtquellen mit Wellenlängen unterhalb 157nm sind ebenfalls möglich.

Das linear polarisierte Licht der Lichtquelle 2 tritt zunächst in einem Strahlaufweiter 4 ein, der beispielsweise als Spiegelanordnung gemäß der DE 41 24 311 ausgebildet sein kann und zur Kohärenzreduktion und Vergrößerung des Strahlquerschnitts dient. Ein als Strahlformungselement dienendes, erstes diffraktives optisches Rasterelement 5 ist in der Objektebene 6 eines im Strahlengang dahinter angeordneten Objektivs 7 angeordnet, das als variabel einstellbarer Teil einer Pupillenformungseinheit ausgelegt ist, die eine vorgebbare Lichtverteilung in seiner Bildebene bzw. Austrittspupille 8 erzeugt. Dort ist ein refraktives zweites optisches Rasterelement 9 angeordnet, welches ebenfalls als Strahlformungselement dient. Eine dahinter angeordnete Einkoppeloptik 10 überträgt das Licht auf eine Zwischenfelfebene 11, in der ein Reticle/Masking-System (REMA) 14 angeordnet ist, welches als verstellbare Feldblende dient. Eine Homogenisierung der Beleuchtungsstrahlung kann durch eine in der Nähe der Feldzwischenebene 11, leicht axial versetzt zum REMA-System 14 positionierte Blendeneinheit erzeugt werden, die so gestaltet oder einstellbar ist, dass sie bestimmte Randbereiche der Lichtverteilung in einer solchen Weise abschirmt, dass in Verbindung mit der integrierenden Wirkung des Scanprozesses

eine weitgehend homogene Beleuchtung des Retikels 50 ermöglicht wird. Eine hierfür geeignete Einrichtung aus stabförmigen „Fingerblenden“ die dynamisch und unabhängig voneinander in ein Feld eingefahren werden können, ist in der Patentanmeldung EP 1 020 769 A2 gezeigt, deren Inhalt durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht wird.

Das nachfolgende Abbildungsobjektiv 15 bildet die Zwischenfelfebene mit dem Maskierungssystem 14 auf das Retikel 50 (Maske, Lithographievorlage) in einem Maßstab ab, der z.B. in einem Intervall von 2:1 bis 1:5 gewählt werden kann und vorzugsweise bei ca. 1:1 liegt. Das Abbildungsobjektiv 15 enthält eine erste Linsengruppe 17, eine Pupillenebene 18, eine zweite und eine dritte Linsengruppe 19 bzw. 20 und dazwischen einen Umlenkspiegel 21, der es ermöglicht, die große Beleuchtungseinrichtung (ca. 3m Länge) horizontal einzubauen und das Retikel 50 waagrecht zu lagern.

Hinter dem Beleuchtungssystem ist eine Einrichtung 52 zum Halten und Manipulieren des Retikels 50 so angeordnet, dass das Retikel in der Objektebene eines Projektionsobjektivs 51 liegt und in dieser Ebene zum Scannerbetrieb in einer Scanrichtung (y-Richtung) mit Hilfe eines Scanantriebs bewegbar ist.

Hinter der Maskenebene 53 folgt das Projektionsobjektiv 51, das als Reduktionsobjektiv wirkt und ein Bild eines an der Maske angeordneten Musters in reduziertem Maßstab, beispielsweise im Maßstab 1:4 oder 1:5, auf einen mit einer Photoresistschicht bzw. Photolackschicht belegten Wafer 54 abbildet, der in der Bildebene 55 des Reduktionsobjektivs angeordnet ist. Es sind refraktive oder katadioptrische Projektionsobjektive möglich. Andere Reduktionsmaßstäbe, beispielsweise stärkere Verkleinerungen bis 1:20 oder 1:200 sind möglich. Der Wafer 54 wird durch eine Einrichtung 56 gehalten, die einen Scannerantrieb umfasst,

um den Wafer synchron mit dem Retikel 50 parallel zu messen zu bewegen. Alle Systeme werden von einer Steuereinheit 57 gesteuert.

Im Beleuchtungssystem 1 ist in der Nähe der Pupillenebene 18 des Abbildungsobjektivs 15 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Transmissionsfiltervorrichtung 22 angeordnet, die eine Zellenanordnung 23 sowie eine Polarisationsfilteranordnung 24 aufweist. Eine elektrische Steuerungseinrichtung 60 zur Erzeugung von Potentialdifferenzen an der Zellenanordnung 23 ist mit dieser und mit einer Regeleinheit 59 verbunden, welche die räumliche Intensitätsfilterungswirkung der Transmissionsfiltervorrichtung 22 auf die mit Hilfe des Objektivs 7 erzeugbare Lichtverteilung (Beleuchtungssetting) abstimmt.

Die Anordnung der Transmissionsfilteranordnung 22 in der Pupillenebene des Abbildungsobjektivs 15 stellt nur eine Positionierungsmöglichkeit dar. Es ist alternativ oder zusätzlich auch möglich, die Transmissionsfilteranordnung 22 in einer Pupillenebene des Objektivs 7 oder in deren Nähe anzuordnen.

Die Zellenanordnung 23 der in Fig. 2 in einer schematischen Seitenansicht gezeigten Transmissionsfiltervorrichtung 22 weist einen als kreisförmige Platte ausgelegten nichtlinearen optischen Kristall 63 auf, der aus Kaliumhydrogenphosphat (KDP) besteht und eine Dicke von ca. 1 bis 2mm sowie einen Durchmesser von ca. 100mm aufweist. Auf einer als Lichteintrittsfläche dienenden zweiten Plattenfläche 64 ist eine zweite Elektrode 62 angebracht, die im Wesentlichen die gesamte zweite Plattenfläche des nichtlinearen Kristalls 63 überdeckt. Auf einer als Lichteintrittsfläche dienenden, ersten Plattenfläche 65 ist eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden 61 angebracht. Fig. 4 zeigt eine Draufsicht auf diese erste Plattenfläche 65 der Zellenanordnung 23 von Fig. 2 mit der Mehrzahl von ersten Elektroden 61. Die Elektroden sind in einer Rasteranordnung von 5 mal 5 quadratischen

Elektroden und vier zusätzlichen, in der Mitte jeder Kante der Rasteranordnung angebrachten Elektroden auf der kreisförmigen Plattenfläche 65 des Kristalls 63 angeordnet. Die lateralen Abstände  $p$  zwischen den benachbarten Elektroden 61 sind hierbei so gewählt, dass bei Anlegen einer Spannung die elektrischen Felder zwischen benachbarten Elektroden sich nicht gegenseitig beeinflussen, so dass die Verzögerungswirkung jeder Zelle unabhängig eingestellt werden kann (vgl. Fig. 5).

Der Zellenanordnung 23 ist eine Steuerungseinrichtung 60 zugeordnet, die zur Einstellung von unabhängig voneinander stufenlos einstellbaren elektrischen Potentialdifferenzen zwischen jeweils einer der Mehrzahl von ersten Elektroden 61 und der zweiten Elektrode 62 ausgelegt ist.

Die Polarisationsfilteranordnung 24 weist im vorliegenden Fall vier schräg zur optischen Achse 3 geneigte, plane Dünnschichtpolarisatoren 66 bis 69 auf, von denen jeweils ein Paar 66, 67 und 68, 69 zusammen mit der Plattenebene des nichtlinearen Kristalls ein Dreieck bilden. Die Polarisationsfilteranordnung 24 sowie die Zellenanordnung 23 überdecken jeweils den gesamten Bereich, der von einer Eintrittslichtverteilung einer Beleuchtungsstrahlung BS überdeckt wird.

Abweichend von der schematischen Darstellung in Fig. 2 sind bei bevorzugten Ausführungsformen die Dünnschichtpolarisatoren so angeordnet, dass die Einfallswinkel der zur optischen Achse parallelen Strahlung zwischen ca. 65° und ca. 75° liegen. Dadurch können relativ einfache einfach aufgebaute Dünnschichtpolarisatoren mit hohem Polarisationsselektions-Wirkungsgrad genutzt werden. Alternativ oder zusätzlich zu Dünnschichtpolarisatoren können auch andere polarisationsaufspaltende optische Elemente zum Einsatz kommen, beispielsweise Strahlteilerwürfel mit einer beidseitig von transparentem Material umgebenen Strahlteilerschicht. Da solche Schichten für Einfallswinkel

um  $45^\circ$  (Nähe des Brewster-Winkels) optimiert sein können, können mit Strahlteilerwürfeln aufgebaute Polarisationsfilteranordnungen in Durchstrahlungsrichtung kurz gebaut sein, wodurch Bauraum in z-Richtung gespart werden kann.

5

Fig. 3 zeigt das Funktionsprinzip der Transmissionsfiltervorrichtung anhand eines Ausschnitts von Fig. 2 mit einem Elektrodenpaar bestehend aus einer ersten Elektrode 161 und einer zweiten Elektrode 162, die zusammen mit dem dazwischenliegenden, nichtlinearen optischen Kristall 163 eine Zelle 123 der Rasteranordnung von Fig. 4 bilden, und einem Dünnschichtpolarisator 166. Elementen von Fig. 2 entsprechende Elemente von Fig. 3 sind mit um hundert erhöhten Bezugszeichen versehen. Die Steuerungsvorrichtung 160 erzeugt eine Potentialdifferenz zwischen der zweiten Elektrode 161 einer zweiten Plattenfläche 164 der Zelle 123 und der ersten Elektrode 162 der ersten Plattenfläche 165. Ein parallel zur Einfallsebene des Dünnschichtpolarisators 166 polarisierter Lichtstrahl 150 mit elektrischem Feldstärkevektor  $E_p$  tritt an der zweiten Plattenfläche 164 in den nichtlinearen optischen Kristall ein und durchläuft diesen, wobei er eine der angelegten Spannung proportionale Verzögerungswirkung erfährt, so dass er von linear polarisiertem in elliptisch polarisiertes Licht umgewandelt wird. Nach dem Austritt aus der Zelle an der Lichtaustrittsfläche 165 weist der Lichtstrahl 150 daher eine Komponente  $E_s$  des elektrischen Feldstärkevektors senkrecht zur Einfallsebene auf den Dünnschichtpolarisator 166 auf, wodurch die Amplitude der parallel polarisierten Komponente sich auf  $E_p' < E_p$  verringert. Der senkrecht zur Einfallsebene polarisierte Teil des Strahls 150 wird am Dünnschichtpolarisator 166 reflektiert und dabei um  $90^\circ$  abgelenkt, während der parallel zur Einfallsebene polarisierte Lichtanteil  $E_p'$  den Dünnschichtpolarisator 166 ohne Ablenkung durchläuft. Der reflektierte Teil des Strahls wird anschließend an einem zweiten, nicht in Fig. 3 gezeigten Dünnschichtpolarisator reflektiert, so dass er in Richtung auf die

Zellenanordnung 23 umgelenkt wird und nicht zu Bildung von Streulicht beiträgt (vgl. Lichtstrahl 150' in Fig. 2). Durch die Auskopplung des senkrecht zur Einfallsebene polarisierten Lichtanteils am Dünnschichtpolarisator 166 nimmt die Intensität (proportional  $E^2$ ) des transmittierten Beleuchtungsstrahls 150 von  $(E_p)^2$  auf  $(E_p')^2$  ab. Das Ausmaß dieser Intensitätsabnahme ist durch Einstellung der Potentialdifferenz U an der Steuerungseinrichtung 160 stufenlos beeinflussbar, da diese die Verzögerungswirkung der Zelle 123 vorgibt.

5

Anstelle von Dünnschichtpolarisatoren können auch unter dem Brewster-Winkel angeordnete, transparente Planplatten zur Polarisationsfilterung eingesetzt werden, sofern die Polarisationsverteilung nach der Transmissionsfiltervorrichtung keine Rolle spielt. Vorteilhaft hieran ist, dass die Transmissionsfiltervorrichtung in diesem Fall auch zur Intensitätsreduktion von Lichtverteilungen mit vergleichsweise hoher numerischer Apertur von mehr als 0,1 eingesetzt werden kann, da Planplatten im Gegensatz zu den Dünnschichtpolarisatoren eine große Winkelakzeptanz aufweisen.

15

Die elektrooptische Konstante von KDP beträgt  $10,3 \text{ pm/V}$ . Bei einer Kristallbrechzahl von  $n_o = 1,5$  wird bei  $193 \text{ nm}$  Wellenlänge die Wirkung einer Phasenverzögerung von  $\lambda/4$  bei etwa  $1,3 \text{ kV}$  Spannung zwischen den ersten und den zweiten Elektroden erreicht. Bei dieser Verzögerung wird bereits eine Intensitätsverringung von  $50 \%$  mit der Transmissionsfiltervorrichtung ermöglicht, da hierdurch linear polarisiertes Eingangslicht in zirkular polarisiertes Ausgangslicht ( $E_p = E_s$ ) transformiert wird.

25

Die in Fig. 2 gezeigte Vorrichtung weist zur Erzeugung einer ortsabhängigen Intensitätsverteilung eine Mehrzahl von Zellen, bestehend aus jeweils einer zweiten Elektrode 61 und einem Teilbereich der ersten Elektrode 62 auf, die nach dem hier erläuterten Funktionsprinzip arbei-

30

ten und unabhängig voneinander von der Steuerungseinrichtung 160 angesteuert werden können, da sich die Feldlinien benachbarter Zellen nicht überlappen. Zur Verdeutlichung dieser Tatsache zeigt Fig. 5 eine Seitenansicht eines Ausschnitts der Zellenanordnung 62 von Fig. 2, bei dem die im Betrieb der Zellenanordnung 62 auftretenden elektrischen Feldlinien gezeigt sind. Der Ausschnitt zeigt eine erste und eine zweite Elektrode 61a, 61b der Mehrzahl von Elektroden 61, einen Ausschnitt der zweiten Elektrode 62 sowie einen Teil des nichtlinearen optischen Kristalls 63. Die Mehrzahl der ersten Elektroden sind in einem Abstand  $p = 2\text{mm}$  voneinander auf der ersten Plattenfläche 65 aufgebracht, der groß ist im Vergleich zur Plattendicke  $d = 1\text{mm}$ . Vorzugsweise sollte die Bedingung  $p > 2 \cdot d$ ,  $p > 4 \cdot d$  oder  $p > 5 \cdot d$  eingehalten werden, um ein „Übersprechen“ zwischen benachbarten Zellen zu vermeiden. Zur Veranschaulichung der Unabhängigkeit der von der ersten und der zweiten Elektrode 61a, 61b erzeugten elektrischen Felder sind die Feldlinien 71 der Felder zwischen den ersten Elektroden 61a, 61b und der zweiten Elektrode 62 eingezeichnet. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Feldlinien der ersten und der zweiten Elektrode nicht überlappen, da der Abstand  $p$  der Elektroden im Vergleich zur Dicke  $d$  der Platte hinreichend groß gewählt ist.

Jede einzelne Elektrode 61 besteht aus einem elektrisch leitenden Material, das partiell lichtdurchlässig ist und so dünn ist, dass ein erheblicher Teil der Beleuchtungsstrahlung vom Elektrodenmaterial transmittiert wird. Im Beispiel bestehen die Elektroden aus Chrom, das mit einer Schichtdicke zwischen ca. 10nm und 40nm auf die Platte aufgebracht ist. Die Elektroden 61 sind mit abgerundeten Ecken zur Vermeidung von hohen, gegebenenfalls eine Materialdegradation an der Oberfläche des nichtlinearen optischen Kristalls auslösenden Feldstärken (an Materialspitzen) versehen. Fig. 6 zeigt eine Draufsicht auf eine Ausführungsform einer solchen Elektrode als Gitterelektrode 70. Diese weist parallele Stege 72 auf, die eine Breite  $b$  aufweisen, die so

gewählt werden kann, dass ein Großteil der Elektrodenfläche aus einem nicht mit einem Steg bedeckten und daher für die Beleuchtungsstrahlung transparenten Flächenanteil besteht. Der Abstand benachbarter Stege ist klein gegen die Plattendicke  $p$ . Bei dieser Ausführungsform der Elektrode wird die Dichte der elektrischen Feldlinien im Kristallvolumen entsprechend der Größe des transparenten Flächenanteils im Vergleich zu einer vollständig mit leitendem Material überzogenen Elektrode herabgesetzt. Weist die Elektrode z.B. einen Anteil von 10% leitfähigen Materials im Vergleich zur Gesamtfläche der Elektrode auf, benötigt man daher eine um ca. einen Faktor 10 höhere Potentialdifferenz zur Erzeugung einer identischen Verzögerungswirkung im Vergleich mit einer vollständig aus leitendem Material bestehenden Elektrode. Da die Pockels-Zellenanordnung stromlos arbeitet, stellt das Einstellen von hohen Spannungsdifferenzen jedoch kein prinzipielles Problem dar. Der Transmissionsverlust bei einer Überdeckung der Elektrodenfläche von 10% mit Metallstegen 72 liegt zwischen 10% und 20% der eingestrahlten Lichtintensität. Voraussetzung hierfür ist, dass die Metallstege von ersten und zweiten Elektroden deckungsgleich auf dem Kristall angeordnet sind, was auch Vignettierungsverlusten vorbeugt. Es versteht sich, dass auch andere als die hier gezeigten Elektrodengeometrien sich als vorteilhaft erweisen können, wie z.B. Kreuzgitter, und dass insbesondere die Elektroden 61 von Fig. 2 wie in Fig. 6 gezeigt ausgebildet sein können. Die Elektroden 61 sind zur Vermeidung von Lichtverlusten mit einer Antireflexschicht versehen.

Bei Verwendung der Transmissionsfiltervorrichtung im Beleuchtungssystem von Fig. 1 kann neben der Homogenisierung der Intensität des Beleuchtungslichts auch eine partielle Depolarisation des Beleuchtungslichts aufgehoben werden, die von zwischen dem Laser 2 und der Transmissionsfiltervorrichtung 22 angeordneten optischen Elementen 7, 10, 17 erzeugt wird, da nach diesem wieder vollständig linear polar-

siertes Licht vorliegt. Es ist auch möglich zur Erhöhung der Ortsauflösung eine Mehrzahl von Zellenanordnungen hintereinander anzuordnen (Kaskade).

5 Die räumliche Intensitätsfilterwirkung der Transmissionsfiltervorrichtung 22 von Fig. 1 kann auf die mit Hilfe des einstellbaren Teils 7 der Pupillenformungseinheit erzeugbare Lichtverteilung (Beleuchtungssetting) abgestimmt werden. Hierzu kann zunächst am einstellbaren Teil der Pupillenformungseinheit 7 eine erste Lichtverteilung, z.B. ein konventionelles Beleuchtungssetting zur Erzeugung von grob strukturierten Halbleiterstrukturen eingestellt werden und an der Transmissionsfiltervorrichtung 22 eine erste ortsabhängige Intensitätsfilterung zur Homogenisierung der Lichtverteilung vorgenommen werden. Danach kann am einstellbaren Teil des Pupillenformungseinheit 7 eine zweite Lichtverteilung, z.B. eine Dipol- oder Quadripolverteilung zur Erzeugung fein strukturierter Halbleiterstrukturen eingestellt werden, und danach eine zweite, an dieses Beleuchtungssetting angepasste, ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen werden.

20 Die durch die Pockels-Zellen gebildete Zellenanordnung, die in Transmission betreibbar ist und zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht der Eintrittslichtverteilung dient und die zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung elektrisch ansteuerbar ist, kann auch ohne nachgeschaltete Polarisationsfilteranordnung in Projektionsbelichtungsanlagen für die Mikrolithografie und auf anderen Gebieten genutzt werden. Sie arbeitet dann als Verzögerungsanordnung zur ortsabhängigen Einstellung von lokal unterschiedlichen Verzögerungen an einer Eintrittslichtverteilung. Solche Verzögerungsanordnungen können zur Umwandlung eines von einer Eingangsseite der Verzögerungsanordnung auftreffenden Eingangsstrahlungsbündels in ein Ausgangsstrahlungsbündel genutzt werden, welches über seinen Querschnitt eine durch die Verzögerungsan-

ordnung beeinflussbare räumliche (örtliche) Verteilung von Polarisationszuständen aufweist, die sich von der räumlichen Verteilung von Polarisationszuständen der Eingangsstrahlung unterscheidet. Durch die unabhängige elektrische Ansteuerung der einzelnen Zellen können in weiten Grenzen beliebige örtliche Verzögerungsverteilungen eingestellt werden. Mögliche Anwendungen von Verzögerungsanordnungen mit über ihren Querschnitt örtlich variierender Verzögerungswirkung sind beispielsweise im Patent EP 0 764 858 B1 der Anmelderin oder der DE 101 24 808 (entsprechend US 2002/0176166 A1) der Anmelderin offenbart. Der Inhalt dieser Anmeldungen wird durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht.

Patentsprüche

1. Transmissionsfiltervorrichtung zur ortsabhängigen Intensitätsfilterung einer Eintrittslichtverteilung mit:  
mindestens einer in Transmission betreibbaren Zellenanordnung (23) zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht der Eintrittslichtverteilung, wobei die Zellenanordnung (23) zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung ansteuerbar ist, sowie mit  
mindestens einer im Lichtweg hinter der Zellenanordnung angeordneten Polarisationsfilteranordnung (24).
2. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Zellenanordnung (23) zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung stufenlos ansteuerbar ist.
3. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Zellenanordnung (23) mindestens einen nichtlinearen optischen Kristall (63, 163) zur Erzeugung eines linearen elektrooptischen Effekts (Pockels-Effekt) in Lichtdurchtrittsrichtung der Eintrittslichtverteilung umfasst.
4. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 3, bei welcher der nichtlineare optische Kristall (63, 163) für Licht in einem Wellenlängenbereich unterhalb von 200nm transparent ist.
5. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, bei welcher der nichtlineare optische Kristall (63, 163) im Wesentlichen aus Beta-Bariumborat (BBO), Kaliumdihydrogenphosphat (KDP), deuteriertem Kaliumdihydrogenphosphat (DKDP) oder Lithium-Triborat (LBO) besteht.
6. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, bei dem der nichtlineare optische Kristall (63, 163) als den Bereich der Eintrittslichtverteilung vollständig überdeckende Planplatte mit einer ersten und einer zweiten Plattenfläche (64, 65) ausgeführt ist.
7. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 6, bei der zur Erzeugung einer Zellenanordnung (23) auf der ersten Plattenfläche (65) eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden (61) sowie auf der zweiten Plattenfläche (64) eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten zweiten Elektroden aufgebracht ist und erste und zweite Elektroden einander zur Bildung einer Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten Elektrodenpaaren paarweise zugeordnet sind, wobei jedes Elektrodenpaar eine Zelle der Zellenanordnung definiert.
8. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 6, bei der zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden (61) sowie auf der zweiten Plattenfläche mindestens eine zweite Elektrode (62) aufgebracht ist, wobei mehreren ersten Elektroden (61a, 61b) eine gemeinsame zweite Elektrode (62) zugeordnet ist.
9. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 6, bei der zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden (61) aufgebracht ist und die zweite Plattenfläche eine einzige zweite Elektrode (62) aufweist, der die Mehrzahl erster Elektroden (61) zugeordnet ist.
10. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei der die voneinander elektrisch getrennten Elektroden (61) auf

dem Kristall in einem Abstand voneinander angeordnet sind, der groß gegen die Plattendicke des nichtlinearen optischen Kristalls (63, 163) ist.

11. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, bei welcher die Elektroden (61, 62, 161, 162) im Wesentlichen frei von hohen Feldstärken verursachenden Bereichen (Materialspitzen) ist.

12. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, bei welcher mindestens eine Elektrode (61, 62, 161, 162) eine Antireflexschicht aufweist.

13. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, bei der mindestens eine Elektrode (61, 62, 161, 162) als Gitterelektrode (70) mit einer Mehrzahl von Stegen (72) aus elektrisch leitendem Material und hohem transparenten Flächenanteil ausgebildet ist.

14. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 13, bei der die Elektroden (61, 62, 161, 162) derart teiltransparent ausgebildet sind, dass der durch die Elektroden (61, 62, 161, 162) hervorgerufene Transmissionsverlust der Eintrittslichtverteilung beim Durchgang durch die Zellenanordnung kleiner als 20% ist.

15. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 14, der eine Steuerungseinrichtung (60) zur Erzeugung von unabhängig voneinander einstellbaren elektrischen Potentialdifferenzen zwischen jeweils einer der elektrisch voneinander getrennten ersten Elektroden (61) der ersten Plattenfläche (65) und einer zugeordneten Elektrode (62) der zweiten Plattenfläche (64) zugeordnet ist.

16. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Polarisationsfilteranordnung mindestens einen Dünnschichtpolarisator (24) umfasst.

17. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Polarisationsfilteranordnung mindestens eine transparente Planplatte umfasst, welche bezüglich des auftretenden Lichts im Wesentlichen unter dem Brewster-Winkel angeordnet ist.

18. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Polarisationsfilteranordnung mindestens einen Polarisationssteilblock mit einer zwischen transparentem Material eingeschlossenen Polarisationssteilerschicht umfasst, welche bezüglich des auftretenden Lichts im Wesentlichen unter dem Brewster-Winkel angeordnet ist.

19. Beleuchtungssystem für eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage zur Beleuchtung eines Beleuchtungsfeldes (53) mit dem Licht einer primären Lichtquelle (2) mit einer Pupillenformungseinheit zur Erzeugung einer vorgebbaren Lichtverteilung in einer Pupillenebene (9) des Beleuchtungssystems, bei dem mindestens eine Transmissionsfiltervorrichtung (22) nach einem der Ansprüche 1 bis 18 vorgesehen ist.

20. Beleuchtungssystem nach Anspruch 19, bei dem die Transmissionsfiltervorrichtung (22) in oder in der Nähe einer Ebene mit geringer numerischer Apertur, vorzugsweise in oder in der Nähe einer Ebene mit numerischer Apertur  $< 0,1$ , besonders bevorzugt in oder in der Nähe einer Pupillenebene (9, 18) des Beleuchtungssystems vorgesehen ist.



21. Beleuchtungssystem nach Anspruch 19 oder 20, das keine Lichtmischeinheit zur Homogenisierung des Beleuchtungslichts umfasst.
22. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 19 bis 21, bei dem eine mit einer Steuerungseinrichtung (60) und der Pupillenformungseinheit verbundene Regelungseinheit (59) zur Abstimmung der ortsabhängigen Intensitätsfilterung auf die Lichtverteilung in der Pupillenebene (18) vorgesehen ist.
23. Beleuchtungssystem nach Anspruch 22, bei dem die Steuerungseinrichtung (60) derart ausgebildet ist, dass diese zur Erzeugung einer Homogenisierungswirkung eine Einstellung der Transmissionsfilterwirkung auf den minimalen Intensitätswert der Eintrittslichtverteilung ermöglicht.
24. Belichtungsverfahren zur Belichtung eines im Bereich einer Bildebene (55) eines Projektionsobjektives angeordneten Substrates mit mindestens einem Bild eines im Bereich einer Objektebene des Projektionsobjektives angeordneten Musters einer Maske mit:  
Beleuchten des Musters mit Beleuchtungsstrahlung eines Beleuchtungssystems nach einem der Ansprüche 19 bis 23 zur Erzeugung einer durch das Muster veränderten Strahlung;  
Durchstrahlen des Projektionsobjektives (51) mit der durch das Muster veränderten Strahlung zur Erzeugung einer auf das Substrat gerichteten Ausgangsstrahlung, wobei  
die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung in der Objektebene (53) des Projektionsobjektives (51) mit der Transmissionsfiltervorrichtung (22) ortsabhängig und zeitabhängig variabel eingestellt wird.
25. Belichtungsverfahren nach Anspruch 24, bei dem das Beleuchtungssystem eine Pupillenformungseinheit aufweist, an der zu-

- nächst eine erste Lichtverteilung eingestellt und an der Transmissionsfiltervorrichtung (22) eine erste ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen wird und danach am Pupillenformungselement eine zweite Lichtverteilung eingestellt und an der Transmissionsfiltervorrichtung (22) eine zweite ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen wird.
26. Belichtungsverfahren nach Anspruch 24 oder 25, bei dem die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung mit der Steuerungseinrichtung (60) zur Erzeugung einer Homogenisierungswirkung auf den minimalen Intensitätswert der Eintrittslichtverteilung eingestellt wird.
27. Verzögerungsanordnung zur ortsabhängigen Verzögerung einer Eintrittslichtverteilung mit:  
mindestens einer in Transmission betreibbaren Zellenanordnung (23) zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht der Eintrittslichtverteilung, wobei die Zellenanordnung (23) zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung ansteuerbar ist.
28. Verzögerungsanordnung nach Anspruch 27, gekennzeichnet durch die Merkmale des Kennzeichens von mindestens einem der Ansprüche 2 bis 15.
-

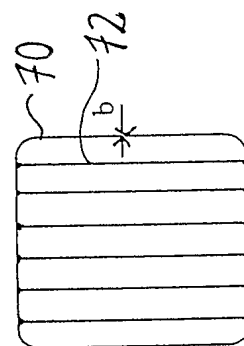
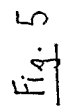
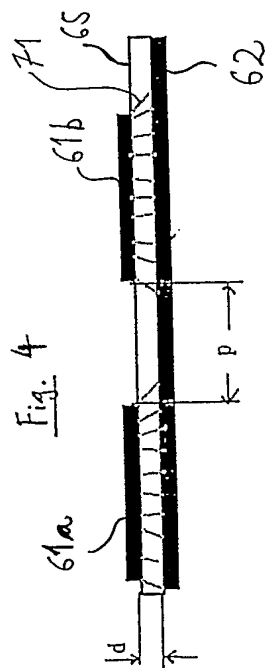
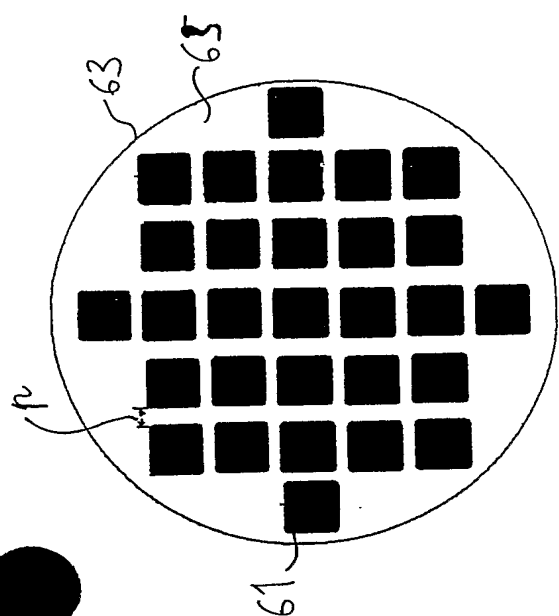
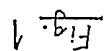


Fig. 6

Zusammenfassung

Eine Transmissionsfiltervorrichtung zur ortsabhängigen Intensitätsfilterung einer Eintrittslichtverteilung umfasst mindestens eine in Transmission betreibbare Zellenanordnung (23) zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht der Eintrittslichtverteilung, wobei die Zellenanordnung (23) zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung ansteuerbar ist, sowie mindestens eine im Lichtweg hinter der Zellenanordnung angeordnete Polarisationsfilteranordnung (24). Die Transmissionsfiltervorrichtung (22) eignet sich besonders für den Einsatz in Beleuchtungssystemen von Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen, da die Transmissionsfilterwirkung zeitlich variabel einstellbar und somit auf den Wechsel der Beleuchtungssettings des Beleuchtungssystems abstimmbare ist. Ein Beleuchtungsverfahren eines Substrats ist mit einem erfindungsgemäßen Beleuchtungssystem vorteilhaft durchführbar.

(Hierzu Fig. 1)

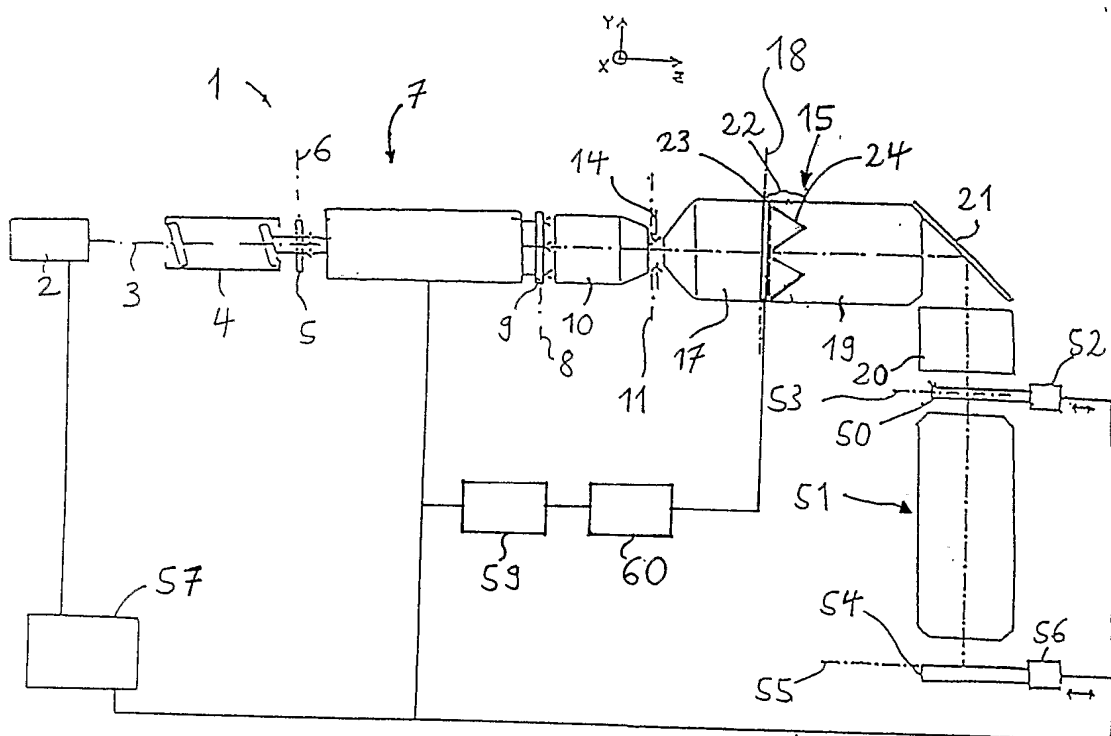


Fig. 1

Fig. 2

